



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 42 42 841 A 1

61 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
F 25 B 21/02  
G 01 K 7/02

21 Aktenzeichen: P 42 42 841.6  
22 Anmeldetag: 17. 12. 92  
43 Offenlegungstag: 23. 6. 94

DE 42 42 841 A 1

71 Anmelder:  
Litef GmbH, 7800 Freiburg, DE

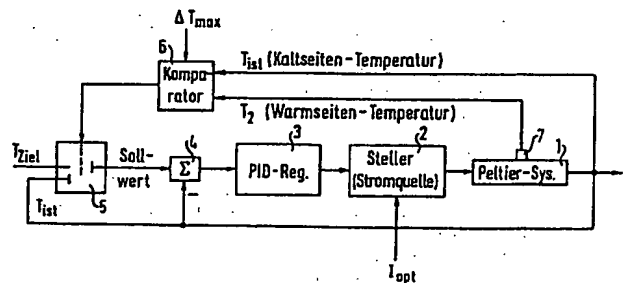
74 Vertreter:  
ter Meer, N., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Müller, F.,  
Dipl.-Ing., 81679 München; Steinmeister, H.,  
Dipl.-Ing.; Wiebusch, M., Pat.-Anwälte, 33617  
Bielefeld

72 Erfinder:  
Keßler, Rolf, Dipl.-Ing., 7802 Merzhausen, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

64 Verfahren und Einrichtung zur Temperaturregelung in einer Peltier-Heiz- und/oder Kühleinrichtung

67 Um den ansteuerbaren Temperaturbereich eines nach dem thermoelektrischen Effekt betriebenen Heiz-/Kühlsystems erheblich zu erweitern, wird ein Regelverfahren und eine Regeleinrichtung vorgeschlagen, bei der die Sollwertvorgabe für eine PID-Regelstrecke zur Einstellung des Stroms für die Peltier-Elemente in Abhängigkeit vom maximal zulässigen Temperatur-Differenzwert ( $\Delta T_{\max}$ ) und in Abhängigkeit von der Warmseitentemperatur ( $T_2$ ) der Peltier-Elemente eingestellt wird.



DE 42 42 841 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 04. 94 408 025/232

8/34

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Regelungseinrichtung zur Temperaturregelung in einer mit mindestens einem Peltier-Element ausgerüsteten Heiz- und/oder Kühleinrichtung, bei dem (der) die Differenz zwischen einem Temperatur-Sollwert und einem gemessenen Temperatur-Istwert auf der Kaltseite des Peltier-Elements über eine PID-Regelstrecke den Strom für das Peltier-Element bestimmt.

Durch Ausnutzung des thermoelektrischen Effekts nach Peltier betriebene Kühl- und/oder Heizgeräte, wofür Temperaturkammern oder Temperaturprüfkammern ein Beispiel sein mögen, zeichnen sich unter anderem dadurch aus, daß bestimmte vorgebbare Temperaturwerte sehr genau eingestellt und gehalten werden können. Unter Nutzung des Peltier-Effekts sind die für solche Geräte bestimmten Temperaturregelungen in der Regel auf die Einhaltung einer definierten, sehr konstanten Temperatur ausgelegt, wie sie beispielsweise zur Temperierung elektronischer Bauelemente wie Laser-Dioden (zur Konstanzhaltung der Wellenlänge), Mikroprozessoren (zur Erzielung höherer Taktraten) sowie für bestimmte elektronische Baugruppen und Geräte (zur Erhöhung der Zuverlässigkeit) benötigt wird. Tiefere Temperaturen lassen sich dabei in der Regel nur mit zusätzlichem Einsatz von flüssigen oder gasförmigen Kühlmedien erreichen und einhalten.

Die Fig. 7 der beigefügten Zeichnungen zeigt eine typische Regeleinrichtung für eine Peltier-Heiz-/Kühlkammer mit einer eingangsseitig über einen Differenzbildner 4 durch die Differenz zwischen einem vorgebbaren Temperatur-Sollwert und einem an den Peltier-Elementen 1 auf der Kaltseite gemessenen Temperatur-Istwert beaufschlagten PID-Regelstrecke 3. Der PID-Regler 3 liefert eine Steuerspannung an eine Stelleinrichtung 2, beispielsweise eine spannungssteuerbare Konstant-Stromquelle, die den Stromwert für das in der Regel aus mehreren elektrisch parallel geschalteten Peltier-Elementen bestehende Peltier-System 1 bestimmt.

PID-Regelstrecken der bekannten Art arbeiten prinzipiell zufriedenstellend. Für viele Anwendungsfälle jedoch ist der mögliche Temperaturbereich zu klein, insbesondere deshalb, weil die über die Peltier-Elemente "wegzupumpende" Verlustleistung unzureichend ist.

Der Erfindung liegt damit die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Regeleinrichtung für aktiv mit einem Gleichstrom zu versorgende Peltier-Elemente innerhalb eines Heiz-/Kühlsystems zu schaffen, durch die sich der mögliche Temperaturbereich wesentlich erweitern läßt bei gleichzeitig verbesserter Wärmepumpleistung.

Die Erfindung ist bei einem Verfahren zur Temperaturregelung nach der eingangs genannten Art erfindungsgemäß dadurch gekennzeichnet, daß die Warmseitentemperatur des Peltier-Elements (der Peltier-Elemente) gemessen und der Temperatur-Differenzwert zwischen der Warmseitentemperatur und dem (Kaltseiten-)Temperatur-Istwert bestimmt sowie der Differenzwert gegen eine maximal zulässige Temperaturdifferenz zwischen der Warm- und Kaltseite des Peltier-Elements (der Peltier-Elemente) verglichen wird und daß als Temperatur-Sollwert ein für eine gewünschte Betriebstemperatur vorgegebener Temperatur-Zielwert verwendet wird, solange die maximal zulässige Temperaturdifferenz abzüglich eines festen kleinen Temperaturhysteresewerts größer ist als der Temperatur-Differenzwert, während der Temperatur-Sollwert mit dem

Temperatur-Istwert gleichgesetzt wird, sobald der Temperatur-Differenzwert gleich oder größer wird als die maximal zulässige Temperaturdifferenz zuzüglich des Temperaturhysteresewerts.

Der maximal zulässige Temperatur-Differenzwert ist in der Regel abhängig von der Warmseitentemperatur der Peltier-Elemente und wird für die Einspeisung in die Regelschleife vorteilhafterweise aus einer Speichertabelle entnommen.

Weiterhin ist es für eine Optimierung des Regelprozesses bei gleichzeitiger Verbesserung der Zuverlässigkeit von Vorteil, den Strom für die Peltier-Elemente auf einen optimalen Stromwert zu begrenzen, der zur Aufrechterhaltung der für die Peltier-Elemente maximal möglichen Tiefsttemperatur benötigt wird.

Eine Regeleinrichtung zur Temperaturregelung bei einer mit mindestens einem Peltier-Element ausgerüsteten Heiz- und/oder Kühleinrichtung mit einem inneren Regelkreis, der im wesentlichen dem Regelkreis nach Fig. 7 entspricht, ist erfindungsgemäß gekennzeichnet durch einen die Warmseitentemperatur des Peltier-Elements (der Peltier-Elemente) erfassenden Temperatursensor, einen Komparator, der den Differenzwert zwischen dem Warmseitentemperaturwert und dem Kaltseitentemperatur-Istwert berechnet und gegen einen maximal zulässigen Temperatur-Differenzwert vergleicht und durch einen vom Komparator gesteuerten Sollwertumschalter, der einen vorgegebenen Temperatur-Zielwert dann auf den Differenzbildner durchschaltet, wenn der maximal zulässige Temperatur-Differenzwert, abzüglich eines festen, kleinen Temperaturhysteresewerts größer ist als der Differenzwert und den Differenzbildner mit dem Kaltseitentemperatur-Istwert beaufschlagt, sobald der Komparator festgestellt hat, daß der Differenzwert größer ist, als der maximal zulässige Temperatur-Differenzwert zuzüglich des Temperaturhysteresewerts.

Die Erfindung macht sich die Erkenntnis zunutze, daß es für jedes Peltier-Element eine maximale Temperaturdifferenz  $\Delta T_{\max}$  zwischen der Temperatur auf der wärmeabgebenden Seite und der wärmeaufnehmenden Seite (Kaltseite) des Peltier-Elements gibt, die abhängig ist vom Betriebsstrom und der absoluten Warmseitentemperatur. In den von Herstellern von Peltier-Elementen herausgegebenen Kennlinienfeldern, wofür die Fig. 3 ein Beispiel gibt, ist der maximale Temperatur-Differenzwert  $\Delta T_{\max}$  jeweils für unterschiedliche Warmseitentemperaturen angegeben.

Hierbei gilt der Zusammenhang

- je höher die Warmseitentemperatur, desto höher  $\Delta T_{\max}$  bzw.
- je höher  $\Delta T_{\max}$ , desto kleiner die Wärmepumpleistung.

Aus dem Kennlinienfeld für ein typisches Peltier-Element ist beispielsweise zu erkennen, daß für diesen Typ bei einer Warmseitentemperatur  $T_2 = 25^\circ\text{C}$  ein  $\Delta T_{\max} = 65^\circ\text{C}$  gilt. Aufgetragen ist die Wärmepumpleistung über den erreichbaren  $\Delta T$  bei jeweils fest eingestelltem Speise-Gleichstrom für das Peltier-Element. Zusätzlich angegeben ist das für die Warmseitentemperatur  $T_2$  jeweils mögliche  $\Delta T_{\max}$ .

Ein Betrieb des betreffenden Geräts über die angegebenen Grenzwerte hinaus hätte zur Folge, daß die Warmseitentemperatur ansteigt, wenn die Wärmeabfuhr der Wärmesenke (z. B. an einem Kühlkörper) nicht mehr ausreicht. Dies hätte selbstverständlich auch einen

Anstieg der Kaltseitentemperatur zur Folge. Bei einem herkömmlichen Regelkreis, wie er in Fig. 7 gezeigt ist, entsteht aus der Regler-Gegenkopplung eine Mitkopplung und das gesamte Regelsystem wird instabil. Eine gewünschte Kaltseitentemperatur wäre damit nicht erreichbar.

Ein wesentlicher Schritt zur erfindungsgemäßen Lösung des Problems besteht darin, daß die Größe  $\Delta T_{\max}$  geregelt wird. Hierzu wird als zusätzliche Meßgröße die Warmseitentemperatur  $T_2$  herangezogen.

Vorteilhaft, in vielen Anwendungsfällen notwendig, ist es zusätzlich, die Stromquelle auf einen Stromwert  $I_{\text{opt}}$  zu begrenzen, d. h. auf einen Stromwert, der zur Aufrechterhaltung der maximal möglichen Tiefsttemperatur benötigt wird.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung sowie eine vorteilhafte Lösungsvariante unter Verwendung eines Mikroprozessors wird nachfolgend unter Bezug auf die Zeichnungen näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 das Prinzip-Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Regelanordnung;

Fig. 2 die Prinzip-Blockbilddarstellung einer Temperatur- oder Klimakammer einschl. der zugehörigen Stromversorgung, Regelkreis, Umwälzkühlanlage und peripheren Bedienung- oder Überwachungseinheiten;

Fig. 3 bereits erläuterte Kennlinienfelder für ein bestimmtes Peltier-Element, aus denen sich für bestimmte Warmseitentemperaturen in Abhängigkeit vom Eingangsstrom die maximal möglichen Temperaturdifferenzen  $\Delta T_{\max}$  und die dafür geltenden Wärmepumpleistungen entnehmen lassen;

Fig. 4 das Flußdiagramm einer Unter-Routine innerhalb eines Regelalgorithmus des erfindungsgemäßen Regelungsverfahrens;

Fig. 5 und 6 Temperaturverlaufskurven, gemessen auf der Kaltseite der Peltier-Elemente bzw. im Innenraum einer Peltier-Heiz-/Kühl-Kammer und

Fig. 7 das Blockschaltbild einer Regelanordnung herkömmlicher Art für eine thermoelektrisch betriebene Klimakammer.

Beim erweiterten Temperaturregelkreis der Erfindung nach Fig. 1 sind wie bei bekannten Regelkreisen nach Fig. 7 das über den PID-Regler 3 und die spannungssteuerbare Konstantstromquelle 2 versorgte Peltier-Elementesystem 1 vorhanden, wobei der Eingang des PID-Reglers 3 durch einen Differenzbildner 4 beaufschlagt ist, der den Differenzwert zwischen einem vorgebbaren Temperatur-Sollwert und der auf der Kaltseite der Peltier-Elemente gemessenen Temperatur  $T_{\text{ist}}$  bestimmt.

Als zusätzliche Elemente sind ein Komparator 6, ein Sollwertumschalter 5 und ein Temperaturfühler 7 zum Erfassen der Warmseitentemperatur  $T_2$  der Peltier-Elemente hinzugekommen. Der eigentliche Temperatur-PID-Regler bleibt, wie erwähnt, als innerer Regelkreis bestehen.

Der Komparator 6 berechnet zunächst die Differenz zwischen der Warmseitentemperatur  $T_2$  und der Kaltseitentemperatur  $T_{\text{ist}}$ , also den Wert  $\Delta T$ . Anschließend vergleicht er den errechneten Differenzwert  $\Delta T$  gegen ein bestimmtes für die gewählten Peltier-Elemente charakteristisches  $\Delta T_{\max}$ . Das Ergebnis des Vergleichs ist ein Entscheidungssignal an den Sollwertumschalter 5 gemäß folgender Gesetzmäßigkeit:

$$(T_2 - T_{\text{ist}}) - \Delta T_{\max} < 0 \rightarrow \text{Sollwert} = T_{\text{Ziel}}$$

$$(T_2 - T_{\text{ist}}) - \Delta T_{\max} > 0 \rightarrow \text{Sollwert} = T_{\text{ist}}$$

Der eine Sollwert  $T_{\text{Ziel}}$  wird vom Anwender entweder über ein Stellglied oder vorzugsweise über ein Steuerprogramm entsprechend den in einem Register gespeicherten Werten vorgegeben.

Dem Sollwertumschalter 5 fällt die Aufgabe zu, entsprechend der Vorgabe durch das Entscheidungssignal vom Komparator 6, entweder den einen Sollwert  $T_{\text{Ziel}}$  oder den Kaltseitentemperatur-Istwert  $T_{\text{ist}}$  als Sollwert für den inneren Regelkreis zu bestimmen.

Damit der Sollwertumschalter 5 nach Schaltung auf den Kaltseitentemperaturwert  $T_{\text{ist}}$  nicht sofort wieder auf den Vorgabewert  $T_{\text{Ziel}}$  umschaltet, ist es erforderlich einen kleinen Hysteresetemperaturwert einzufügen, insbesondere um die in einer Wärmesenke auf der Kaltseite aufgestaute Wärme abzubauen. Die Größe dieses Hysteresewerts ist in Abhängigkeit von der Wärmekapazität der gewählten Wärmesenke zu wählen. Prinzipiell gilt: je höher die Wärmekapazität, desto höher ist der Hysteresetemperaturwert zu wählen. Typischerweise ist der Hysteresetemperaturwert  $T_h < \pm 1,0^\circ\text{C}$ , beispielsweise  $\pm 0,2$  bis  $\pm 0,3^\circ\text{C}$ .

Für das vom Komparator 6 gelieferte Entscheidungssignal für den Sollwertumschalter gilt dann folgende Gesetzmäßigkeit:

$$(T_2 - T_{\text{ist}}) - (\Delta T_{\max} - T_h) < 0 \rightarrow \text{Sollwert} = T_{\text{Ziel}}$$

$$(T_2 - T_{\text{ist}}) - (\Delta T_{\max} + T_h) > 0 \rightarrow \text{Sollwert} = T_{\text{ist}}$$

Wie oben erwähnt, vergrößert sich die maximale Temperatur-Differenz  $\Delta T$  zwischen der Warm- und der Kaltseite der Peltier-Elemente mit der Zunahme der Warmseitentemperatur  $T_2$ . Daraus folgt die mit der Erfindung angewendete Erkenntnis, daß die Vorgabe für die maximale Temperaturdifferenz  $\Delta T_{\max}$  in Abhängigkeit von  $T_2$  zu beeinflussen ist.

Zur Realisierung bieten sich zwei Möglichkeiten an.

Zum einen können die  $\Delta T_{\max}$ -Vorgabewerte, abhängig von Warmseitentemperaturwerten  $T_2$  für einen möglichen Temperaturbereich in einer Speichertabelle, einer sog. "Look-Up-Tabelle" vorgespeichert und dem Komparator 6 in Abhängigkeit von der jeweiligen Warmseitentemperatur  $T_2$  vorgegeben werden. Diese erste Möglichkeit bietet sich insbesondere für eine Softwarelösung des Regelalgorithmus mittels eines Mikroprozessors an, wofür die weiter unten erläuterte Anordnung der Fig. 2 ein Beispiel gibt.

Die andere Möglichkeit zur Bestimmung und Vorgabe des maximalen Temperatur-Differenzwerts  $\Delta T_{\max}$  ergibt sich durch Aufstellen einer linearen Gleichung bei einer in der Regel zulässigen Vernachlässigung von Nichtlinearitäten. Es gilt dann der folgende lineare Zusammenhang:

$$\Delta T_{\max} = A \times T_2 + B.$$

Für das Peltier-Element, dessen Kennlinienfeld die Fig. 3 veranschaulicht ergibt sich für die Konstanten:  $A = 0,3$  und  $B = 57,5$ .

Bei Verwendung einer Look-Up-Tabelle lassen sich die Werte für  $\Delta T_{\max}$  bei hinreichend feiner Abstufung exakt vorgeben, da sich dabei auch Nichtlinearitäten berücksichtigen lassen. In der Praxis hat sich jedoch gezeigt, daß die Herleitung von  $\Delta T_{\max}$  aus dem angegebenen linearen Zusammenhang ausreichend genaue Vorgabewerte für  $\Delta T_{\max}$  bereitstellt.

Die Fig. 2 zeigt das Prinzip-Blockschaltbild eines vollständigen Systems einer Temperaturkammer mit einem

Peltier-Elementesystem 1 (Peltier-Pumpe), einem in innigem wärmeleitendem Kontakt mit dem Peltier-Elementen verbundenen Wärmetauscher 17 mit zugeordnetem Umwälzkühler 14, einem Temperatursensor 18 für die Kaltseiten-Isttemperatur  $T_1$  und dem Temperatursensor 7 für die Warmseitentemperatur  $T_2$ .

Der erfindungsgemäß erweiterte Temperaturregelkreis ist in Form eines durch einen Mikroprozessor 9 gesteuerten Regelalgorithmus aufgebaut. Dem Mikroprozessor 9 werden nach Analog/Digitalumsetzung in einem A/D-Wandler 8 neben der Kaltseiten-Isttemperatur  $T_1$  auch die Temperaturwerte  $T_2$  des Kühlkörpers am Wärmetauscher 17 zugeführt. Der Mikroprozessor 9 liefert das bereitgestellte Reglerausgangssignal nach Digital-Analogwandler über einen D/A-Wandler 15 an die spannungssteuerbare Konstantstromquelle 2. Der von der Konstantstromquelle 2 gelieferte Strom beaufschlagt die Elemente des Peltier-Systems 1 über eine vorzugsweise induktive Glättungseinrichtung 16. Die Speisestromversorgung für die Konstantstromquelle 2 und den üblicherweise mit Netzstrom versorgten Umwälzkühler 14 liefert eine Transformator- und Umformereinheit 13. Der Mikroprozessor 9 liefert Kontrollsignalen an eine periphere Computereinheit 10. Die Kommunikation mit dem Mikroprozessor 9 erfolgt über ein Tastenfeld 11. Verschiedene Kontrollwerte innerhalb der Gesamtanordnung lassen sich auf einem Anzeigefeld 12 darstellen.

Ein Teil des Regelalgorithmus wird mit Bezug auf die Fig. 4 nachfolgend erläutert:

Befindet sich das zu regelnde System beispielsweise in einer Abkühlphase und wird ein bestimmter Maximalwert der Warmseitentemperatur  $T_2$  (insbesondere am Kühlkörper des Wärmetauschers 17) erreicht, so arbeitet die Regler-Software nach einem Unterprogramm, das durch das Flußdiagramm der Fig. 4 veranschaulicht ist und für den Fachmann keiner weiteren Erläuterung bedarf.

Die Fig. 5 und 6 zeigen die typischen gemessenen Temperaturverlaufskurven unter Einsatz eines erfindungsgemäßen Reglersystems. Die Fig. 5 verdeutlicht den Temperaturverlauf auf der Kaltseite der Peltier-Elemente bei Vorgabe einer Schaltschwelle für  $\Delta T_{\max}$  von  $34,7^\circ\text{C}$  und einem Hysteresetemperaturwert von  $T_h = \pm 0,3^\circ\text{C}$ .

Bei der Abkühlphase sind treppenförmige "Erholungspausen" des Systems zu erkennen, die sich jedoch aufgrund thermischer Trägheit auf die Innenraumtemperatur der Temperatorkammer nicht auswirken. Wie die gemessenen Kurven zeigen wird bei Anwendung der erfindungsgemäßen Regelung für die gewählten Vorgabewerte eine Tiefsttemperatur von etwa  $-15^\circ\text{C}$  erreicht. Ohne die erfindungsgemäße  $\Delta T_{\max}$ -Regelung lassen sich nur Tiefsttemperaturen von etwa  $+5^\circ\text{C}$  erreichen. Wird abweichend von der software-programmierten Lösung mit Mikroprozessor gemäß Fig. 2 der erfindungsgemäß erweiterte Regelkreis nach Fig. 1 "hardwaremäßig" aufgebaut, so kann von einem handelsüblichen Temperaturregler ausgegangen werden. Dieser muß einen programmierbaren Limitkomparator als Komparator 6 mit Schaltausgang und einen zusätzlichen Meßeingang für den Warmseitentemperaturwert  $T_2$  aufweisen. Die Schaltschwelle ist hinsichtlich der benötigten Hysterese empirisch zu ermitteln und zu programmieren. Außerdem ist ein Sollwert-Rampengeber, beispielsweise in Verbindung mit dem Limitkomparator mit Steuereingang für START/STOP der Rampe erforderlich. Das eine Temperaturrampe vorgebende Signal

des Sollwertrampengebers wird bei Überschreiten einer Warmseiten-Grenztemperatur gestoppt und bei Unterschreiten wieder freigegeben.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Temperaturregelung in einer mit mindestens einem Peltier-Element ausgerüsteten Heiz- und/oder Kühleinrichtung, bei dem die Differenz zwischen einem Temperatur-Sollwert und einem gemessenen Temperatur-Istwert ( $T_{\text{ist}}$ ) auf der Kaltseite des Peltier-Elements über eine PID-Regelstrecke den Strom für das Peltier-Element bestimmt dadurch gekennzeichnet, daß
  - die Warmseitentemperatur ( $T_2$ ) des Peltier-Elements gemessen und der Temperatur-Differenzwert zwischen der Warmseitentemperatur ( $T_2$ ) und dem (Kaltseiten-)Temperatur-Istwert ( $T_{\text{ist}}$ ) bestimmt wird,
  - der Temperatur-Differenzwert ( $\Delta T = T_2 - T_{\text{ist}}$ ) gegen eine maximal zulässige Temperaturdifferenz ( $\Delta T_{\max}$ ) zwischen der Warm- und Kaltseite des Peltier-Elements verglichen wird und daß
  - als Temperatur-Sollwert ein für eine gewünschte Betriebstemperatur vorgegebener Temperatur-Zielwert ( $T_{\text{Ziel}}$ ) verwendet wird, solange die maximal zulässige Temperatur-Differenz ( $\Delta T_{\max}$ ) abzüglich eines festen kleinen Temperaturhysteresewerts ( $T_h$ ) größer ist als der Temperatur-Differenzwert ( $\Delta T$ ), während der Temperatur-Sollwert ( $T_{\text{Soll}}$ ) mit dem Temperatur-Istwert ( $T_{\text{ist}}$ ) gleichgesetzt wird, sobald der Temperatur-Differenzwert gleich oder größer wird als die maximal zulässige Temperatur-Differenz ( $\Delta T_{\max}$ ) zuzüglich des Temperaturhysteresewerts ( $T_h$ ).
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die maximal zulässige Temperatur-Differenz ( $\Delta T_{\max}$ ) in Abhängigkeit von der Warmseitentemperatur ( $T_2$ ) vorgegeben wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die maximal zulässige Temperaturdifferenz ( $\Delta T_{\max}$ ) in Abhängigkeit von der Warmseitentemperatur ( $T_2$ ) aus einer Speichertabelle entnommen wird.
4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Strom für das Peltier-Element auf einen optimalen Stromwert ( $I_{\text{opt}}$ ) begrenzt wird, der zur Aufrechterhaltung der für das Peltier-Element maximal möglichen Tiefsttemperatur benötigt wird.
5. Regeleinrichtung zur Temperaturregelung bei einer mit mindestens einem Peltier-Element ausgerüsteten Heiz- und/oder Kühleinrichtung mit
  - einem PID-Regler (3), der eingangsseitig vom Ausgang eines Differenzbildners (4) durch den Differenzwert zwischen einem vorgebbaren Temperatur-Sollwert und einem gemessenen Temperatur-Istwert ( $T_{\text{ist}}$ ) auf der Kaltseite des Peltier-Elements beaufschlagt ist, und mit
  - einer vom PID-Regler (3) gesteuerten, spannungssteuerbaren Konstant-Stromquelle (2), die den Speisestrom für das Peltier-Element bestimmt, gekennzeichnet durch
  - einen die Warmseitentemperatur ( $T_2$ ) des Peltier-Elements (1) erfassenden Temperatur-

sensor (7),

— einen (Limit-)Komparator (6), der den Temperatur-Differenzwert ( $\Delta T$ ) zwischen dem Warmseitentemperaturwert ( $T_2$ ) und dem Kaltseitentemperatur-Istwert ( $T_{ist}$ ) berechnet und gegen einen maximal zulässigen Temperatur-Differenzwert ( $\Delta T_{max}$ ) vergleicht und durch

— einen vom Komparator (6) gesteuerten Sollwertumschalter (5) der einen vorgegebenen Temperatur-Zielwert ( $T_{Ziel}$ ) dann auf den Differenzbildner (4) durchschaltet, wenn der maximal zulässige Temperatur-Differenzwert ( $\Delta T_{max}$ ) abzüglich eines festen, kleinen Temperaturhysteresewerts ( $T_h$ ) größer ist als der Temperatur-Differenzwert ( $\Delta T$ ) und den Differenzbildner (4) mit dem Kaltseitentemperatur-Istwert ( $T_{ist}$ ) beaufschlagt, sobald der Komparator (6) festgestellt hat, daß der Temperatur-Differenzwert größer ist als der maximal zulässige Temperatur-Differenzwert ( $\Delta T_{max}$ ) abzüglich des Temperaturhysteresewerts ( $T_h$ ).

6. Regeleinrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der maximal zulässige, am Komparator (6) vorgegebene, Temperatur-Differenzwert ( $\Delta T_{max}$ ) aus dem Zusammenhang

$$\Delta T_{max} = A \times T_2 + B$$

bestimmt wird, wobei mit  $\Delta T_{max}$  der Temperatur-Differenzwert, mit  $T_2$  der Warmseitentemperaturwert und mit A bzw. B für ein bestimmtes Peltier-Element charakteristische Konstanten bezeichnet sind.

Regeleinrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Regelalgorithmus in einen Mikroprozessor (9) implementiert ist und daß die maximal zulässigen Temperatur-Differenzwerte ( $\Delta T_{max}$ ) aus einer vorprogrammierten Speichertabelle aufrufbar sind.

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -

Fig. 1 \*

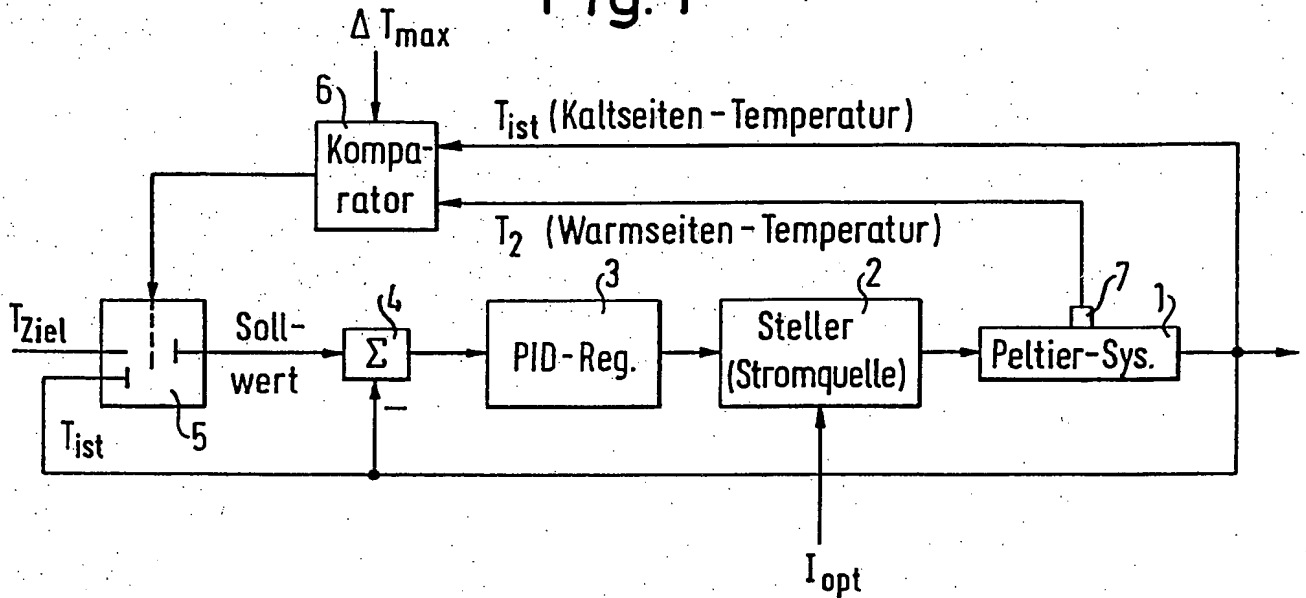


Fig. 2

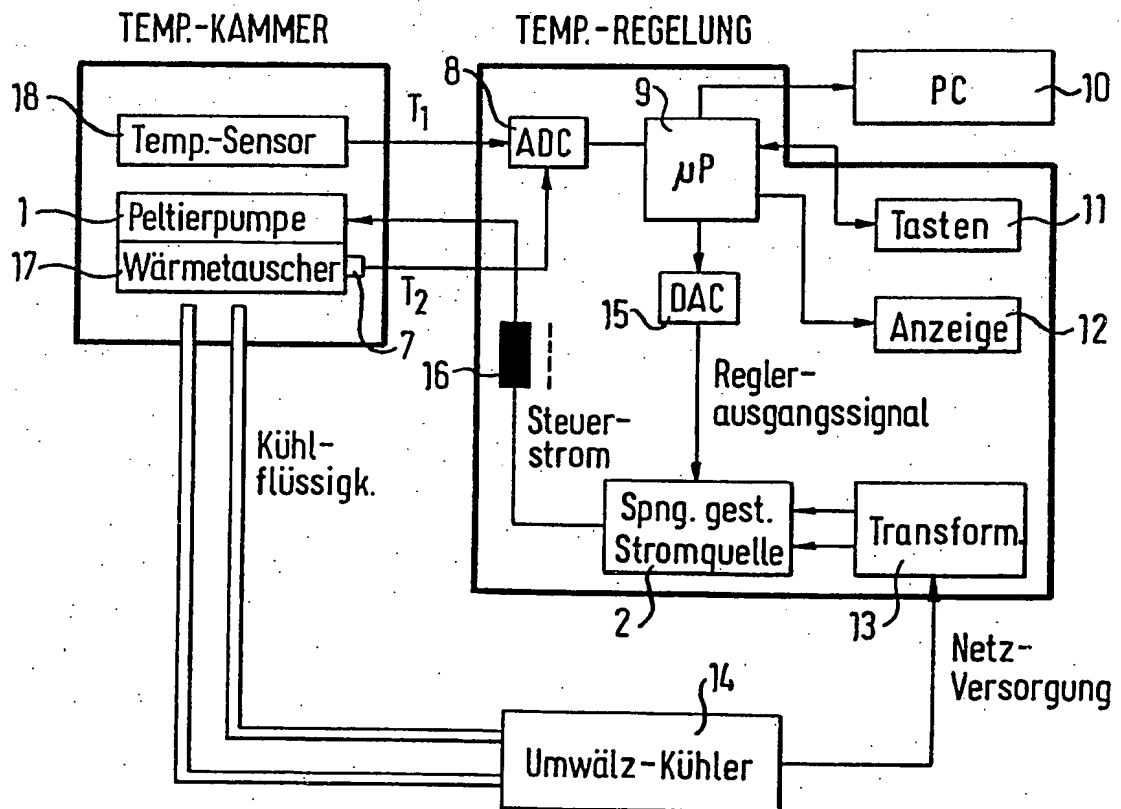


Fig. 3

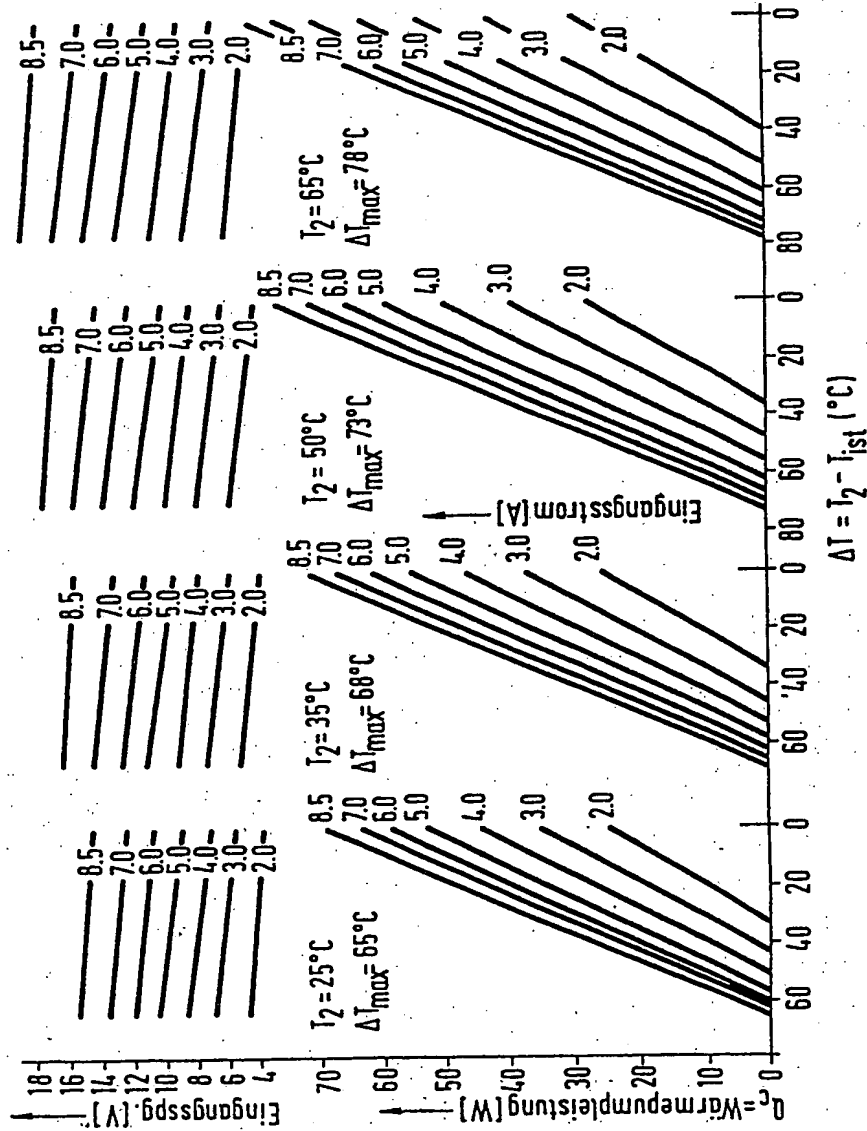
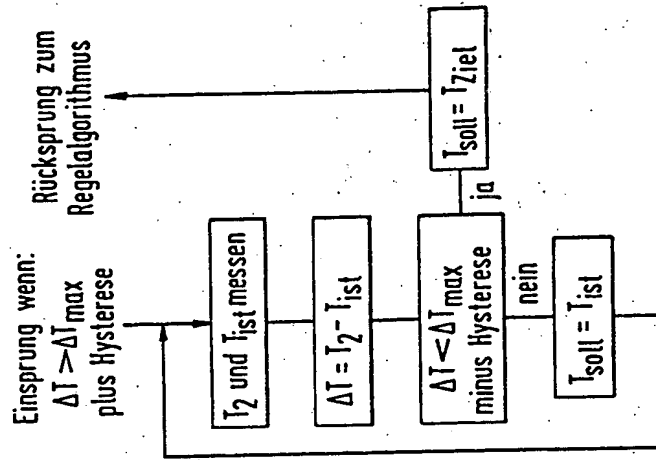


Fig. 4





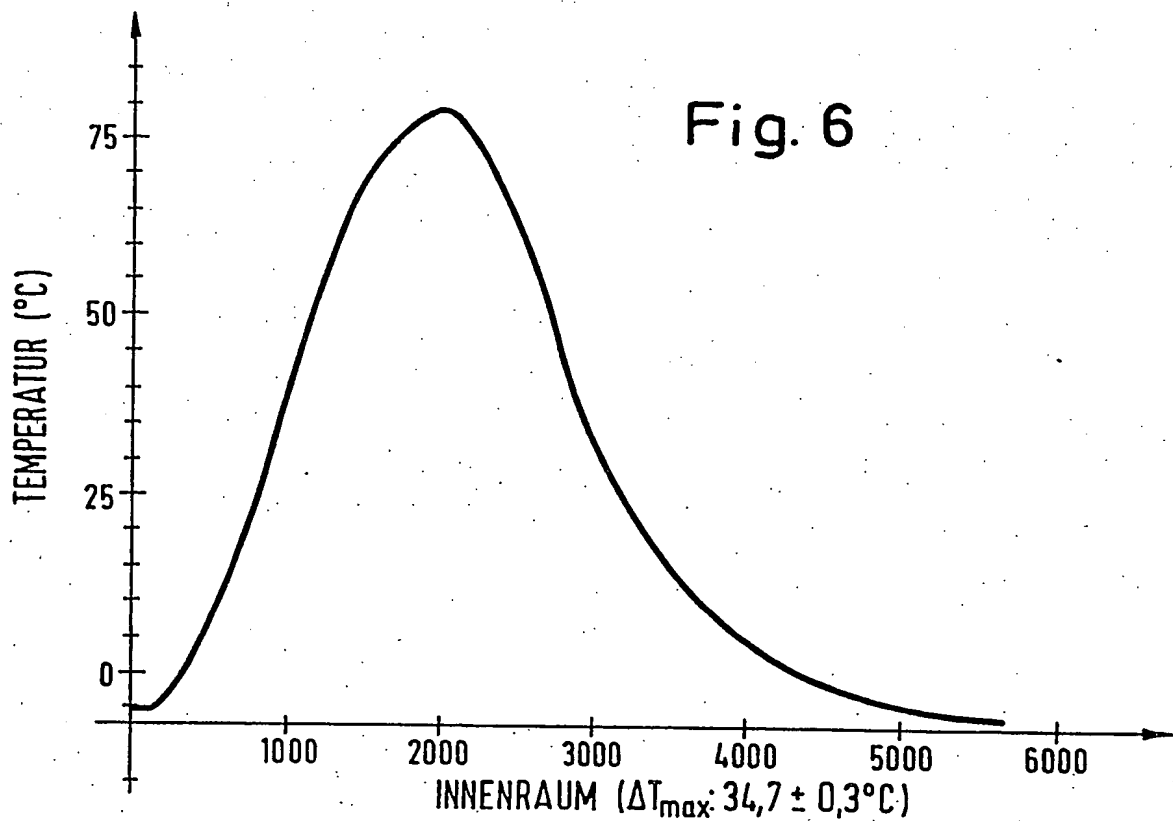
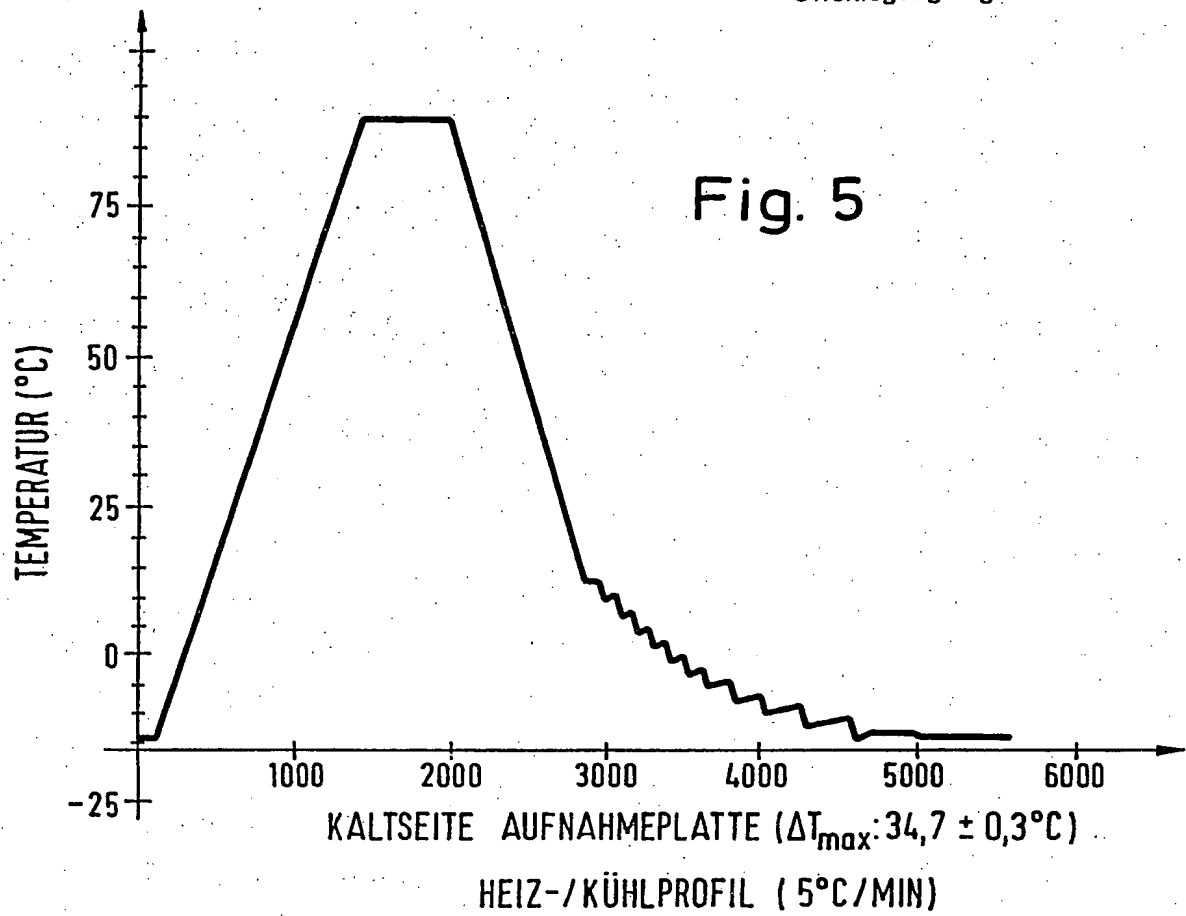
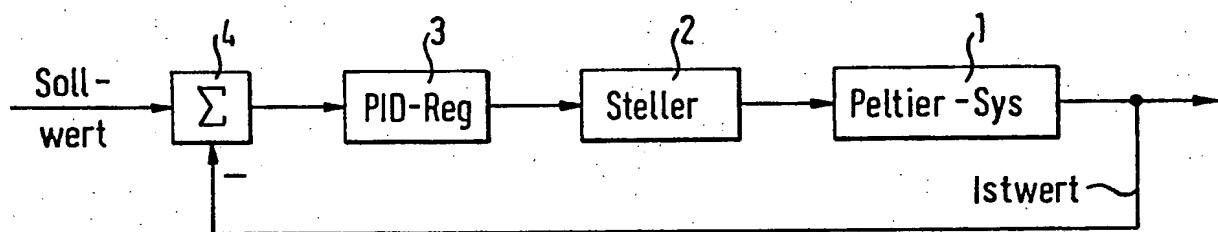


Fig. 7





19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 42 42 841 A 1

51 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
F 25 B 21/02  
G 01 K 7/02

21 Aktenzeichen: P 42 42 841.6  
22 Anmeldetag: 17. 12. 92  
43 Offenlegungstag: 23. 6. 94

DE 42 42 841 A 1

71 Anmelder:  
Litef GmbH, 7800 Freiburg, DE

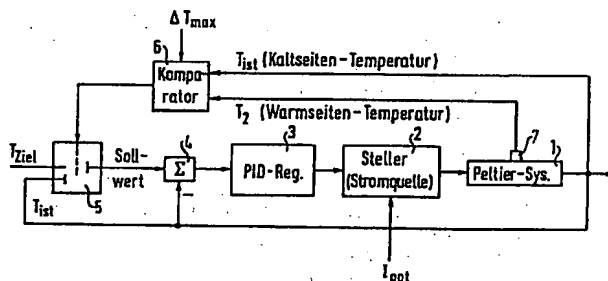
74 Vertreter:  
ter Meer, N., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Müller, F.,  
Dipl.-Ing., 81679 München; Steinmeister, H.,  
Dipl.-Ing.; Wiebusch, M., Pat.-Anwälte, 33617  
Bielefeld

72 Erfinder:  
Keßler, Rolf, Dipl.-Ing., 7802 Merzhausen, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren und Einrichtung zur Temperaturregelung in einer Peltier-Heiz- und/oder Kühleinrichtung

57 Um den ansteuerbaren Temperaturbereich eines nach dem thermoelektrischen Effekt betriebenen Heiz-/Kühlsystems erheblich zu erweitern, wird ein Regelverfahren und eine Regeleinrichtung vorgeschlagen, bei der die Sollwertvorgabe für eine PID-Regelstrecke zur Einstellung des Stroms für die Peltier-Elemente in Abhängigkeit vom maximal zulässigen Temperatur-Differenzwert ( $\Delta T_{\max}$ ) und in Abhängigkeit von der Warmseitentemperatur ( $T_2$ ) der Peltier-Elemente eingestellt wird.



DE 42 42 841 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 04. 94 408 025/232

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Regleinrichtung zur Temperaturregelung in einer mit mindestens einem Peltier-Element ausgerüsteten Heiz- und/oder Kühleinrichtung, bei dem (der) die Differenz zwischen einem Temperatur-Sollwert und einem gemessenen Temperatur-Istwert auf der Kaltseite des Peltier-Elements über eine PID-Regelstrecke den Strom für das Peltier-Element bestimmt.

Durch Ausnutzung des thermoelektrischen Effekts nach Peltier betriebene Kühl- und/oder Heizgeräte, wofür Temperaturkammern oder Temperaturprüfkammern ein Beispiel sein mögen, zeichnen sich unter anderem dadurch aus, daß bestimmte vorgebbare Temperaturwerte sehr genau eingestellt und gehalten werden können. Unter Nutzung des Peltier-Effekts sind die für solche Geräte bestimmten Temperaturregelungen in der Regel auf die Einhaltung einer definierten, sehr konstanten Temperatur ausgelegt, wie sie beispielsweise zur Temperierung elektronischer Bauelemente wie Laser-Dioden (zur Konstanzhaltung der Wellenlänge), Mikroprozessoren (zur Erzielung höherer Taktraten) sowie für bestimmte elektronische Baugruppen und Geräte (zur Erhöhung der Zuverlässigkeit) benötigt wird. Tieferen Temperaturen lassen sich dabei in der Regel nur mit zusätzlichem Einsatz von flüssigen oder gasförmigen Kühlmedien erreichen und einhalten.

Die Fig. 7 der beigefügten Zeichnungen zeigt eine typische Regeleinrichtung für eine Peltier-Heiz-/Kühlkammer mit einer eingangsseitig über einen Differenzbildner 4 durch die Differenz zwischen einem vorgebbaren Temperatur-Sollwert und einem an den Peltier-Elementen 1 auf der Kaltseite gemessenen Temperatur-Istwert beaufschlagten PID-Regelstrecke 3. Der PID-Regler 3 liefert eine Steuerspannung an eine Stelleinrichtung 2, beispielsweise eine spannungssteuerbare Konstant-Stromquelle, die den Stromwert für das in der Regel aus mehreren elektrisch parallel geschalteten Peltier-Elementen bestehende Peltier-System 1 bestimmt.

PID-Regelstrecken der bekannten Art arbeiten prinzipiell zufriedenstellend. Für viele Anwendungsfälle jedoch ist der mögliche Temperaturbereich zu klein, insbesondere deshalb, weil die über die Peltier-Elemente "wegzupumpende" Verlustleistung unzureichend ist.

Der Erfindung liegt damit die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Regeleinrichtung für aktiv mit einem Gleichstrom zu versorgende Peltier-Elemente innerhalb eines Heiz-/Kühlsystems zu schaffen, durch die sich der mögliche Temperaturbereich wesentlich erweitern läßt bei gleichzeitig verbesserter Wärmepumpleistung.

Die Erfindung ist bei einem Verfahren zur Temperaturregelung nach der eingangs genannten Art erfindungsgemäß dadurch gekennzeichnet, daß die Warmseitentemperatur des Peltier-Elements (der Peltier-Elemente) gemessen und der Temperatur-Differenzwert zwischen der Warmseitentemperatur und dem (Kaltseiten-)Temperatur-Istwert bestimmt sowie der Differenzwert gegen eine maximal zulässige Temperaturdifferenz zwischen der Warm- und Kaltseite des Peltier-Elements (der Peltier-Elemente) verglichen wird und daß als Temperatur-Sollwert ein für eine gewünschte Betriebstemperatur vorgegebener Temperatur-Zielwert verwendet wird, solange die maximal zulässige Temperaturdifferenz abzüglich eines festen kleinen Temperaturhysteresewerts größer ist als der Temperatur-Differenzwert, während der Temperatur-Sollwert mit dem

Temperatur-Istwert gleichgesetzt wird, sobald der Temperatur-Differenzwert gleich oder größer wird als die maximal zulässige Temperaturdifferenz zuzüglich des Temperaturhysteresewerts.

Der maximal zulässige Temperatur-Differenzwert ist in der Regel abhängig von der Warmseitentemperatur der Peltier-Elemente und wird für die Einspeisung in die Regelschleife vorteilhafterweise aus einer Speichertabelle entnommen.

Weiterhin ist es für eine Optimierung des Regelprozesses bei gleichzeitiger Verbesserung der Zuverlässigkeit von Vorteil, den Strom für die Peltier-Elemente auf einen optimalen Stromwert zu begrenzen, der zur Aufrechterhaltung der für die Peltier-Elemente maximal möglichen Tiefsttemperatur benötigt wird.

Eine Regeleinrichtung zur Temperaturregelung bei einer mit mindestens einem Peltier-Element ausgerüsteten Heiz- und/oder Kühleinrichtung mit einem inneren Regelkreis, der im wesentlichen dem Regelkreis nach Fig. 7 entspricht, ist erfindungsgemäß gekennzeichnet durch einen die Warmseitentemperatur des Peltier-Elements (der Peltier-Elemente) erfassenden Temperatursensor, einen Komparator, der den Differenzwert zwischen dem Warmseitentemperaturwert und dem Kaltseitentemperatur-Istwert berechnet und gegen einen maximal zulässigen Temperatur-Differenzwert vergleicht und durch einen vom Komparator gesteuerten Sollwertumschalter, der einen vorgegebenen Temperatur-Zielwert dann auf den Differenzbildner durchschaltet, wenn der maximal zulässige Temperatur-Differenzwert, abzüglich eines festen, kleinen Temperaturhysteresewerts größer ist als der Differenzwert und den Differenzbildner mit dem Kaltseitentemperatur-Istwert beaufschlagt, sobald der Komparator festgestellt hat, daß der Differenzwert größer ist, als der maximal zulässige Temperatur-Differenzwert zuzüglich des Temperaturhysteresewerts.

Die Erfindung macht sich die Erkenntnis zunutze, daß es für jedes Peltier-Element eine maximale Temperaturdifferenz  $\Delta T_{\max}$  zwischen der Temperatur auf der wärmeabgebenden Seite und der wärmeaufnehmenden Seite (Kaltseite) des Peltier-Elements gibt, die abhängig ist vom Betriebsstrom und der absoluten Warmseitentemperatur. In den von Herstellern von Peltier-Elementen herausgegebenen Kennlinienfeldern, wofür die Fig. 3 ein Beispiel gibt, ist der maximale Temperatur-Differenzwert  $\Delta T_{\max}$  jeweils für unterschiedliche Warmseitentemperaturen angegeben.

Hierbei gilt der Zusammenhang

- je höher die Warmseitentemperatur, desto höher  $\Delta T_{\max}$  bzw.
- je höher  $\Delta T_{\max}$ , desto kleiner die Wärmepumpleistung.

Aus dem Kennlinienfeld für ein typisches Peltier-Element ist beispielsweise zu erkennen, daß für diesen Typ bei einer Warmseitentemperatur  $T_2 = 25^\circ\text{C}$  ein  $\Delta T_{\max} = 65^\circ\text{C}$  gilt. Aufgetragen ist die Wärmepumpleistung über den erreichbaren  $\Delta T$  bei jeweils fest eingestelltem Speise-Gleichstrom für das Peltier-Element. Zusätzlich angegeben ist das für die Warmseitentemperatur  $T_2$  jeweils mögliche  $\Delta T_{\max}$ .

Ein Betrieb des betreffenden Geräts über die angegebenen Grenzwerte hinaus hätte zur Folge, daß die Warmseitentemperatur ansteigt, wenn die Wärmeabfuhr der Wärmesenke (z. B. an einem Kühlkörper) nicht mehr ausreicht. Dies hätte selbstverständlich auch einen

Anstieg der Kaltseitentemperatur zur Folge. Bei einem herkömmlichen Regelkreis, wie er in Fig. 7 gezeigt ist, entsteht aus der Regler-Gegenkopplung eine Mitkopplung und das gesamte Regelsystem wird instabil. Eine gewünschte Kaltseitentemperatur wäre damit nicht erreichbar.

Ein wesentlicher Schritt zur erfindungsgemäßen Lösung des Problems besteht darin, daß die Größe  $\Delta T_{\max}$  geregelt wird. Hierzu wird als zusätzliche Meßgröße die Warmseitentemperatur  $T_2$  herangezogen.

Vorteilhaft, in vielen Anwendungsfällen notwendig, ist es zusätzlich, die Stromquelle auf einen Stromwert  $I_{\text{opt}}$  zu begrenzen, d. h. auf einen Stromwert, der zur Aufrechterhaltung der maximal möglichen Tiefsttemperatur benötigt wird.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung sowie eine vorteilhafte Lösungsvariante unter Verwendung eines Mikroprozessors wird nachfolgend unter Bezug auf die Zeichnungen näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 das Prinzip-Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Regelanordnung;

Fig. 2 die Prinzip-Blockbilddarstellung einer Temperatur- oder Klimakammer einschl. der zugehörigen Stromversorgung, Regelkreis, Umwälzkühlanlage und peripheren Bedienungs- oder Überwachungseinheiten;

Fig. 3 bereits erläuterte Kennlinienfelder für ein bestimmtes Peltier-Element, aus denen sich für bestimmte Warmseitentemperaturen in Abhängigkeit vom Eingangstrom die maximal möglichen Temperaturdifferenzen  $\Delta T_{\max}$  und die dafür geltenden Wärmepumpleistungen entnehmen lassen;

Fig. 4 das Flußdiagramm einer Unter-Routine innerhalb eines Regelalgorithmus des erfindungsgemäßen Regelungsverfahrens;

Fig. 5 und 6 Temperaturverlaufskurven, gemessen auf der Kaltseite der Peltier-Elemente bzw. im Innenraum einer Peltier-Heiz-/Kühl-Kammer und

Fig. 7 das Blockschaltbild einer Regelanordnung herkömmlicher Art für eine thermoelektrisch betriebene Klimakammer.

Beim erweiterten Temperaturregelkreis der Erfindung nach Fig. 1 sind wie bei bekannten Regelkreisen nach Fig. 7 das über den PID-Regler 3 und die spannungssteuerbare Konstantstromquelle 2 versorgte Peltier-Elementesystem 1 vorhanden, wobei der Eingang des PID-Reglers 3 durch einen Differenzbildner 4 beaufschlagt ist, der den Differenzwert zwischen einem vorgebbaren Temperatur-Sollwert und der auf der Kaltseite der Peltier-Elemente gemessenen Temperatur  $T_{\text{Ist}}$  bestimmt.

Als zusätzliche Elemente sind ein Komparator 6, ein Sollwertumschalter 5 und ein Temperaturfühler 7 zum Erfassen der Warmseitentemperatur  $T_2$  der Peltier-Elemente hinzugekommen. Der eigentliche Temperatur-PID-Regler bleibt, wie erwähnt, als innerer Regelkreis bestehen.

Der Komparator 6 berechnet zunächst die Differenz zwischen der Warmseitentemperatur  $T_2$  und der Kaltseitentemperatur  $T_{\text{Ist}}$ , also den Wert  $\Delta T$ . Anschließend vergleicht er den errechneten Differenzwert  $\Delta T$  gegen ein bestimmtes für die gewählten Peltier-Elemente charakteristisches  $\Delta T_{\max}$ . Das Ergebnis des Vergleichs ist ein Entscheidungssignal an den Sollwertumschalter 5 gemäß folgender Gesetzmäßigkeit:

$$(T_2 - T_{\text{Ist}}) - \Delta T_{\max} < 0 \rightarrow \text{Sollwert} = T_{\text{Ziel}}$$

$$(T_2 - T_{\text{Ist}}) - \Delta T_{\max} > 0 \rightarrow \text{Sollwert} = T_{\text{Ist}}$$

Der eine Sollwert  $T_{\text{Ziel}}$  wird vom Anwender entweder über ein Stellglied oder vorzugsweise über ein Steuerprogramm entsprechend den in einem Register gespeicherten Werten vorgegeben.

Dem Sollwertumschalter 5 fällt die Aufgabe zu, entsprechend der Vorgabe durch das Entscheidungssignal vom Komparator 6, entweder den einen Sollwert  $T_{\text{Ziel}}$  oder den Kaltseitentemperatur-Istwert  $T_{\text{Ist}}$  als Sollwert für den inneren Regelkreis zu bestimmen.

Damit der Sollwertumschalter 5 nach Schaltung auf den Kaltseitentemperaturwert  $T_{\text{Ist}}$  nicht sofort wieder auf den Vorgabewert  $T_{\text{Ziel}}$  umschaltet, ist es erforderlich einen kleinen Hysteresetemperaturwert einzufügen, insbesondere um die in einer Wärmesenke auf der Kaltseite aufgestaute Wärme abzubauen. Die Größe dieses Hysteresewerts ist in Abhängigkeit von der Wärmekapazität der gewählten Wärmesenke zu wählen. Prinzipiell gilt: je höher die Wärmekapazität, desto höher ist der Hysteresetemperaturwert zu wählen. Typischerweise ist der Hysteresetemperaturwert  $T_h < \pm 1,0^\circ\text{C}$ , beispielsweise  $\pm 0,2$  bis  $\pm 0,3^\circ\text{C}$ .

Für das vom Komparator 6 gelieferte Entscheidungssignal für den Sollwertumschalter gilt dann folgende Gesetzmäßigkeit:

$$(T_2 - T_{\text{Ist}}) - (\Delta T_{\max} - T_h) < 0 \rightarrow \text{Sollwert} = T_{\text{Ziel}}$$

$$(T_2 - T_{\text{Ist}}) - (\Delta T_{\max} + T_h) > 0 \rightarrow \text{Sollwert} = T_{\text{Ist}}$$

Wie oben erwähnt, vergrößert sich die maximale Temperatur-Differenz  $\Delta T$  zwischen der Warm- und der Kaltseite der Peltier-Elemente mit der Zunahme der Warmseitentemperatur  $T_2$ . Daraus folgt die mit der Erfindung angewendete Erkenntnis, daß die Vorgabe für die maximale Temperaturdifferenz  $\Delta T_{\max}$  in Abhängigkeit von  $T_2$  zu beeinflussen ist.

Zur Realisierung bieten sich zwei Möglichkeiten an.

Zum einen können die  $\Delta T_{\max}$ -Vorgabewerte, abhängig von Warmseitentemperaturwerten  $T_2$  für einen möglichen Temperaturbereich in einer Speichertabelle, einer sog. "Look-Up-Tabelle" vorgespeichert und dem Komparator 6 in Abhängigkeit von der jeweiligen Warmseitentemperatur  $T_2$  vorgegeben werden. Diese erste Möglichkeit bietet sich insbesondere für eine Softwarelösung des Regelalgorithmus mittels eines Mikroprozessors an, wofür die weiter unten erläuterte Anordnung der Fig. 2 ein Beispiel gibt.

Die andere Möglichkeit zur Bestimmung und Vorgabe des maximalen Temperatur-Differenzwerts  $\Delta T_{\max}$  ergibt sich durch Aufstellen einer linearen Gleichung bei einer in der Regel zulässigen Vernachlässigung von Nichtlinearitäten. Es gilt dann der folgende lineare Zusammenhang:

$$\Delta T_{\max} = A \times T_2 + B.$$

Für das Peltier-Element, dessen Kennlinienfeld die Fig. 3 veranschaulicht ergibt sich für die Konstanten:  $A = 0,3$  und  $B = 57,5$ .

Bei Verwendung einer Look-Up-Tabelle lassen sich die Werte für  $\Delta T_{\max}$  bei hinreichend feiner Abstufung exakt vorgeben, da sich dabei auch Nichtlinearitäten berücksichtigen lassen. In der Praxis hat sich jedoch gezeigt, daß die Herleitung von  $\Delta T_{\max}$  aus dem angegebenen linearen Zusammenhang ausreichend genaue Vorgabewerte für  $\Delta T_{\max}$  bereitstellt.

Die Fig. 2 zeigt das Prinzip-Blockschaltbild eines vollständigen Systems einer Temperaturkammer mit einem

Peltier-Elementesystem 1 (Peltier-Pumpe), einem ininigem wärmeleitendem Kontakt mit dem Peltier-Elementen verbundenen Wärmetauscher 17 mit zugeordnetem Umwälzkühler 14, einem Temperatursensor 18 für die Kaltseiten-Isttemperatur  $T_1$  und dem Temperatursensor 7 für die Warmseitentemperatur  $T_2$ .

Der erfindungsgemäß erweiterte Temperaturregelkreis ist in Form eines durch einen Mikroprozessor 9 gesteuerten Regelalgorithmus aufgebaut. Dem Mikroprozessor 9 werden nach Analog/Digitalumsetzung in einem A/D-Wandler 8 neben der Kaltseiten-Isttemperatur  $T_1$  auch die Temperaturwerte  $T_2$  des Kühlkörpers am Wärmetauscher 17 zugeführt. Der Mikroprozessor 9 liefert das bereitgestellte Reglerausgangssignal nach Digital-Analogwandler über einen D/A-Wandler 15 an die spannungssteuerbare Konstantstromquelle 2. Der von der Konstantstromquelle 2 gelieferte Strom beaufschlagt die Elemente des Peltier-Systems 1 über eine vorzugsweise induktive Glättungseinrichtung 16. Die Speisestromversorgung für die Konstantstromquelle 2 und den üblicherweise mit Netzstrom versorgten Umwälzkühler 14 liefert eine Transformator- und Umformeinheit 13. Der Mikroprozessor 9 liefert Kontrollsignalen an eine periphere Computereinheit 10. Die Kommunikation mit dem Mikroprozessor 9 erfolgt über ein Tastenfeld 11. Verschiedene Kontrollwerte innerhalb der Gesamtanordnung lassen sich auf einem Anzeigefeld 12 darstellen.

Ein Teil des Regelalgorithmus wird mit Bezug auf die Fig. 4 nachfolgend erläutert:

Befindet sich das zu regelnde System beispielsweise in einer Abkühlphase und wird ein bestimmter Maximalwert der Warmseitentemperatur  $T_2$  (insbesondere am Kühlkörper des Wärmetauschers 17) erreicht, so arbeitet die Regler-Software nach einem Unterprogramm, das durch das Flußdiagramm der Fig. 4 veranschaulicht ist und für den Fachmann keiner weiteren Erläuterung bedarf.

Die Fig. 5 und 6 zeigen die typischen gemessenen Temperaturverlaufskurven unter Einsatz eines erfindungsgemäßen Reglersystems. Die Fig. 5 verdeutlicht den Temperaturverlauf auf der Kaltseite der Peltier-Elemente bei Vorgabe einer Schaltschwelle für  $\Delta T_{\max}$  von  $34,7^\circ\text{C}$  und einem Hysteresetemperaturwert von  $T_h = \pm 0,3^\circ\text{C}$ .

Bei der Abkühlphase sind treppenförmige "Erholungspausen" des Systems zu erkennen, die sich jedoch aufgrund thermischer Trägheit auf die Innenraumtemperatur der Temperatorkammer nicht auswirken. Wie die gemessenen Kurven zeigen wird bei Anwendung der erfindungsgemäßen Regelung für die gewählten Vorgabewerte eine Tiefsttemperatur von etwa  $-15^\circ\text{C}$  erreicht. Ohne die erfindungsgemäße  $\Delta T_{\max}$ -Regelung lassen sich nur Tiefsttemperaturen von etwa  $+5^\circ\text{C}$  erreichen. Wird abweichend von der software-programmierten Lösung mit Mikroprozessor gemäß Fig. 2 der erfindungsgemäß erweiterte Regelkreis nach Fig. 1 "hardwaremäßig" aufgebaut, so kann von einem handelsüblichen Temperaturregler ausgegangen werden. Dieser muß einen programmierbaren Limitkomparator als Komparator 6 mit Schaltausgang und einen zusätzlichen Meßeingang für den Warmseitentemperaturwert  $T_2$  aufweisen. Die Schaltschwelle ist hinsichtlich der benötigten Hysterese empirisch zu ermitteln und zu programmieren. Außerdem ist ein Sollwert-Rampengeber, beispielsweise in Verbindung mit dem Limitkomparator mit Steuereingang für START/STOP der Rampe erforderlich. Das eine Temperaturrampe vorgebende Signal

des Sollwertrampengebers wird bei Überschreiten einer Warmseiten-Grenztemperatur gestoppt und bei Unterschreiten wieder freigegeben.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Temperaturregelung in einer mit mindestens einem Peltier-Element ausgerüsteten Heiz- und/oder Kühleinrichtung, bei dem die Differenz zwischen einem Temperatur-Sollwert und einem gemessenen Temperatur-Istwert ( $T_{\text{ist}}$ ) auf der Kaltseite des Peltier-Elements über eine PID-Regelstrecke den Strom für das Peltier-Element bestimmt dadurch gekennzeichnet, daß

- die Warmseitentemperatur ( $T_2$ ) des Peltier-Elements gemessen und der Temperatur-Differenzwert zwischen der Warmseitentemperatur ( $T_2$ ) und dem (Kaltseiten-)Temperatur-Istwert ( $T_{\text{ist}}$ ) bestimmt wird,
- der Temperatur-Differenzwert ( $\Delta T = T_2 - T_{\text{ist}}$ ) gegen eine maximal zulässige Temperaturdifferenz ( $\Delta T_{\max}$ ) zwischen der Warm- und Kaltseite des Peltier-Elements verglichen wird und daß

- als Temperatur-Sollwert ein für eine gewünschte Betriebstemperatur vorgegebener Temperatur-Zielwert ( $T_{\text{ziel}}$ ) verwendet wird, solange die maximal zulässige Temperatur-Differenz ( $\Delta T_{\max}$ ) abzüglich eines festen kleinen Temperaturhysteresewerts ( $T_h$ ) größer ist als der Temperatur-Differenzwert ( $\Delta T$ ), während der Temperatur-Sollwert ( $T_{\text{soll}}$ ) mit dem Temperatur-Istwert ( $T_{\text{ist}}$ ) gleichgesetzt wird, sobald der Temperatur-Differenzwert gleich oder größer wird als die maximal zulässige Temperatur-Differenz ( $\Delta T_{\max}$ ) zuzüglich des Temperaturhysteresewerts ( $T_h$ ).

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die maximal zulässige Temperatur-Differenz ( $\Delta T_{\max}$ ) in Abhängigkeit von der Warmseitentemperatur ( $T_2$ ) vorgegeben wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die maximal zulässige Temperaturdifferenz ( $\Delta T_{\max}$ ) in Abhängigkeit von der Warmseitentemperatur ( $T_2$ ) aus einer Speichertabelle entnommen wird.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Strom für das Peltier-Element auf einen optimalen Stromwert ( $I_{\text{opt}}$ ) begrenzt wird, der zur Aufrechterhaltung der für das Peltier-Element maximal möglichen Tiefsttemperatur benötigt wird.

5. Regeleinrichtung zur Temperaturregelung bei einer mit mindestens einem Peltier-Element ausgerüsteten Heiz- und/oder Kühleinrichtung mit

- einem PID-Regler (3), der eingangsseitig vom Ausgang eines Differenzbildners (4) durch den Differenzwert zwischen einem vorgebbaren Temperatur-Sollwert und einem gemessenen Temperatur-Istwert ( $T_{\text{ist}}$ ) auf der Kaltseite des Peltier-Elements beaufschlagt ist, und mit
- einer vom PID-Regler (3) gesteuerten, spannungssteuerbaren Konstant-Stromquelle (2), die den Speisestrom für das Peltier-Element bestimmt, gekennzeichnet durch
- einen die Warmseitentemperatur ( $T_2$ ) des Peltier-Elements (1) erfassenden Temperatur-

sensor (7),

— einen (Limit-)Komparator (6), der den Temperatur-Differenzwert ( $\Delta T$ ) zwischen dem Warmseitentemperaturwert ( $T_2$ ) und dem Kaltseitentemperatur-Istwert ( $T_{ist}$ ) berechnet und gegen einen maximal zulässigen Temperatur-Differenzwert ( $\Delta T_{max}$ ) vergleicht und durch

— einen vom Komparator (6) gesteuerten Sollwertumschalter (5) der einen vorgegebenen Temperatur-Zielwert ( $T_{Ziel}$ ) dann auf den Differenzbildner (4) durchschaltet, wenn der maximal zulässige Temperatur-Differenzwert ( $\Delta T_{max}$ ) abzüglich eines festen, kleinen Temperaturhysterewerts ( $T_h$ ) größer ist als der Temperatur-Differenzwert ( $\Delta T$ ) und den Differenzbildner (4) mit dem Kaltseitentemperatur-Istwert ( $T_{ist}$ ) beaufschlagt, sobald der Komparator (6) festgestellt hat, daß der Temperatur-Differenzwert größer ist als der maximal zulässige Temperatur-Differenzwert ( $\Delta T_{max}$ ) abzüglich des Temperaturhysterewerts ( $T_h$ ).

6. Regeleinrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der maximal zulässige, am Komparator (6) vorgegebene, Temperatur-Differenzwert ( $\Delta T_{max}$ ) aus dem Zusammenhang

$$\Delta T_{max} = A \times T_2 + B$$

bestimmt wird, wobei mit  $\Delta T_{max}$  der Temperatur-Differenzwert, mit  $T_2$  der Warmseitentemperaturwert und mit A bzw. B für ein bestimmtes Peltier-Element charakteristische Konstanten bezeichnet sind.

Regeleinrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Regelalgorithmus in einen Mikroprozessor (9) implementiert ist und daß die maximal zulässigen Temperatur-Differenzwerte ( $\Delta T_{max}$ ) aus einer vorprogrammierten Speichertabelle aufrufbar sind.

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -



Fig. 1 \*

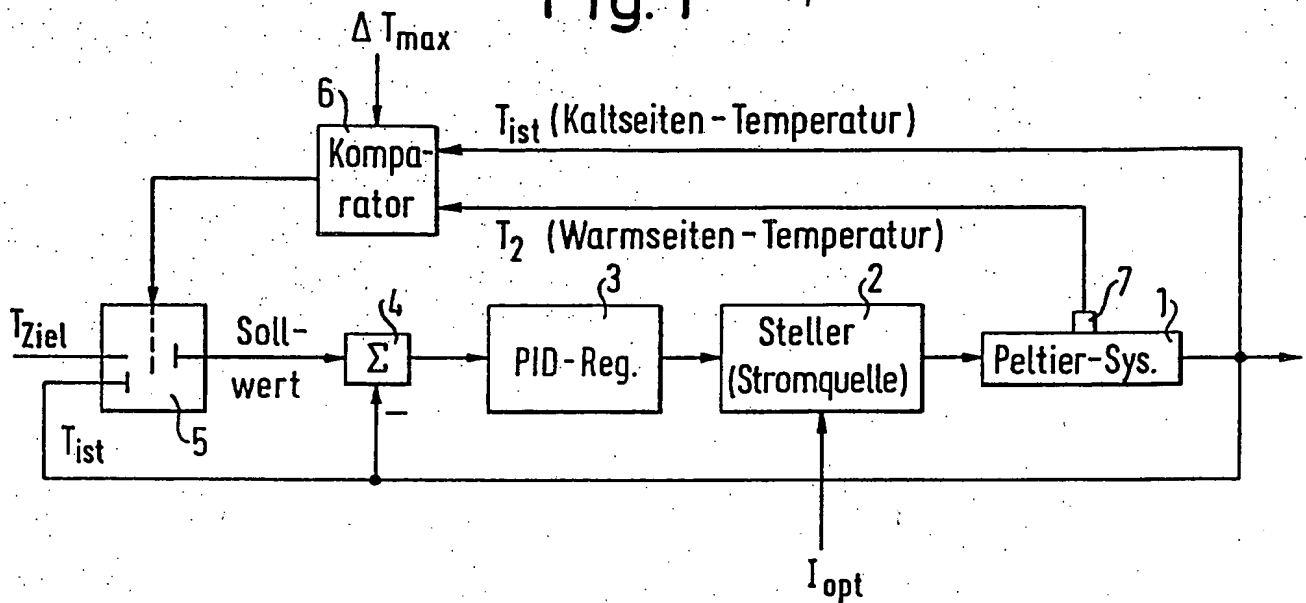


Fig. 2

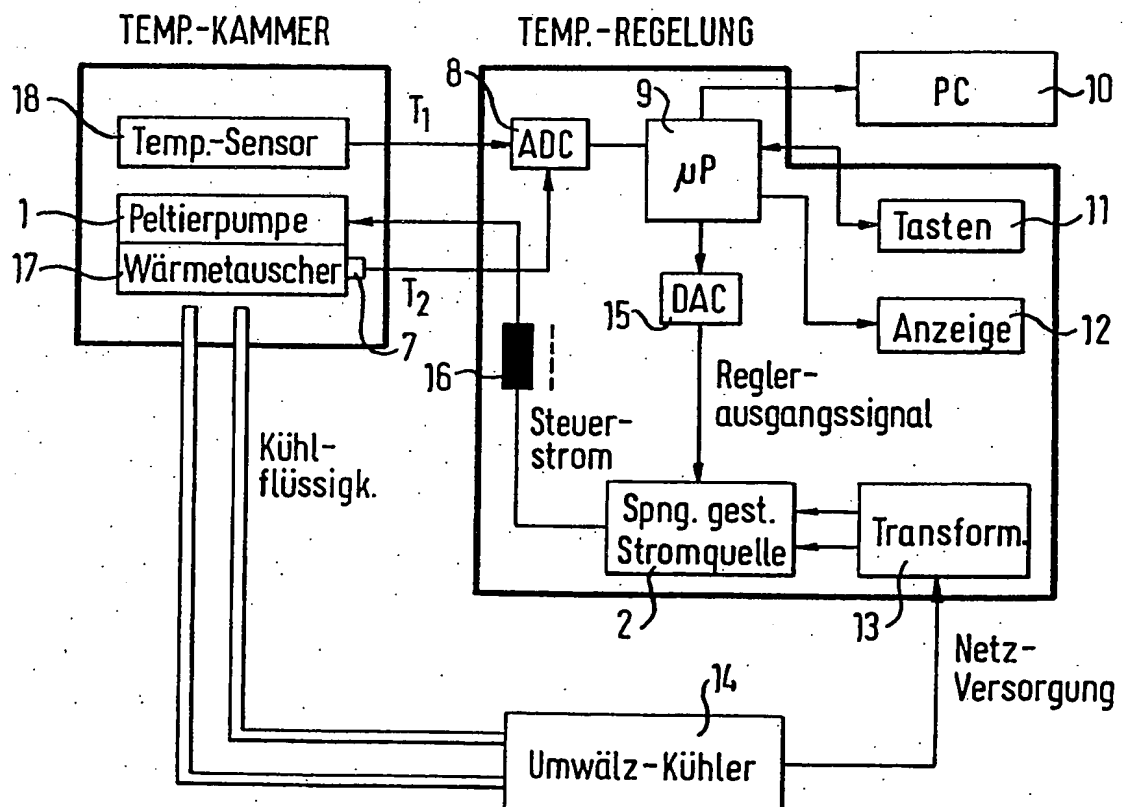


Fig. 4

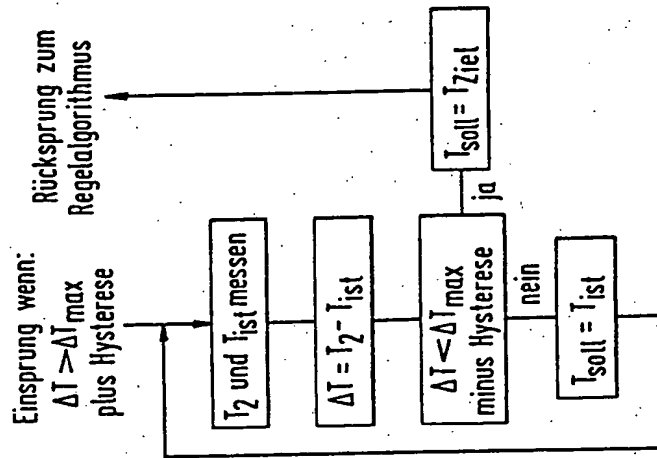
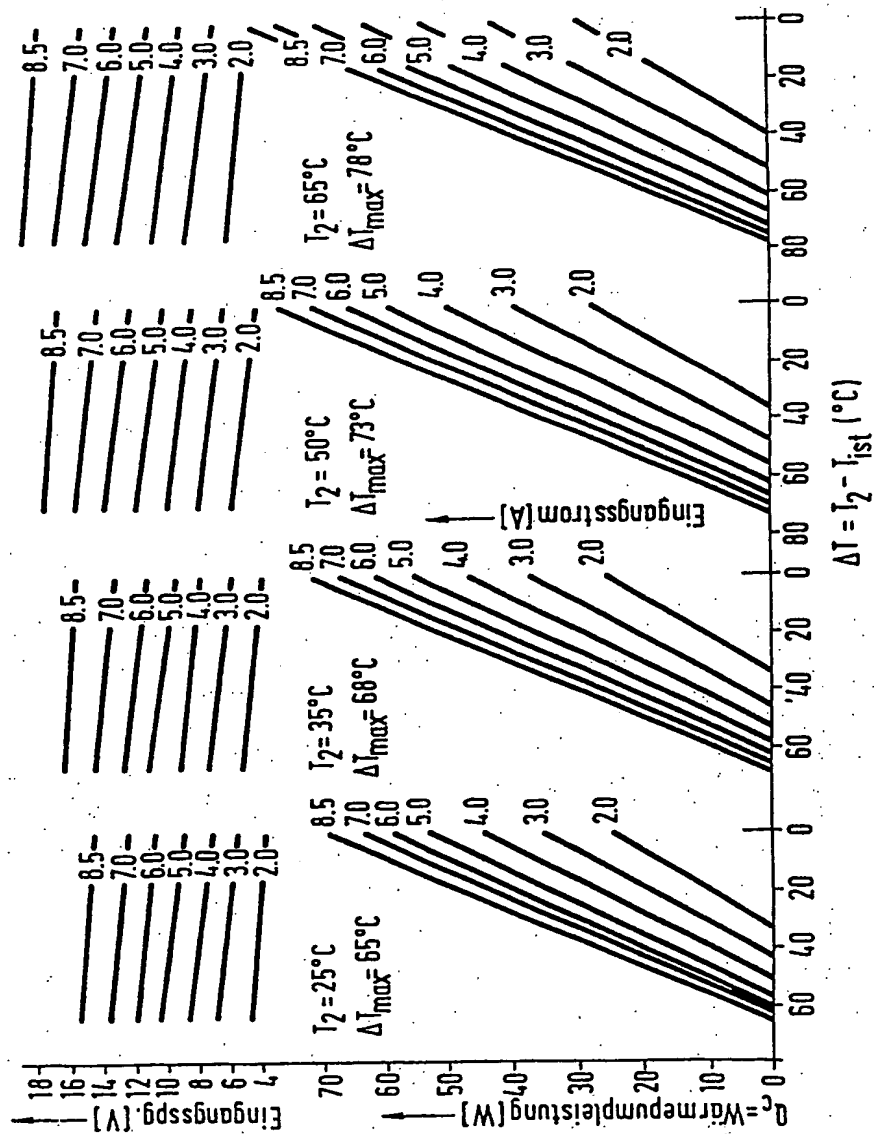


Fig. 3



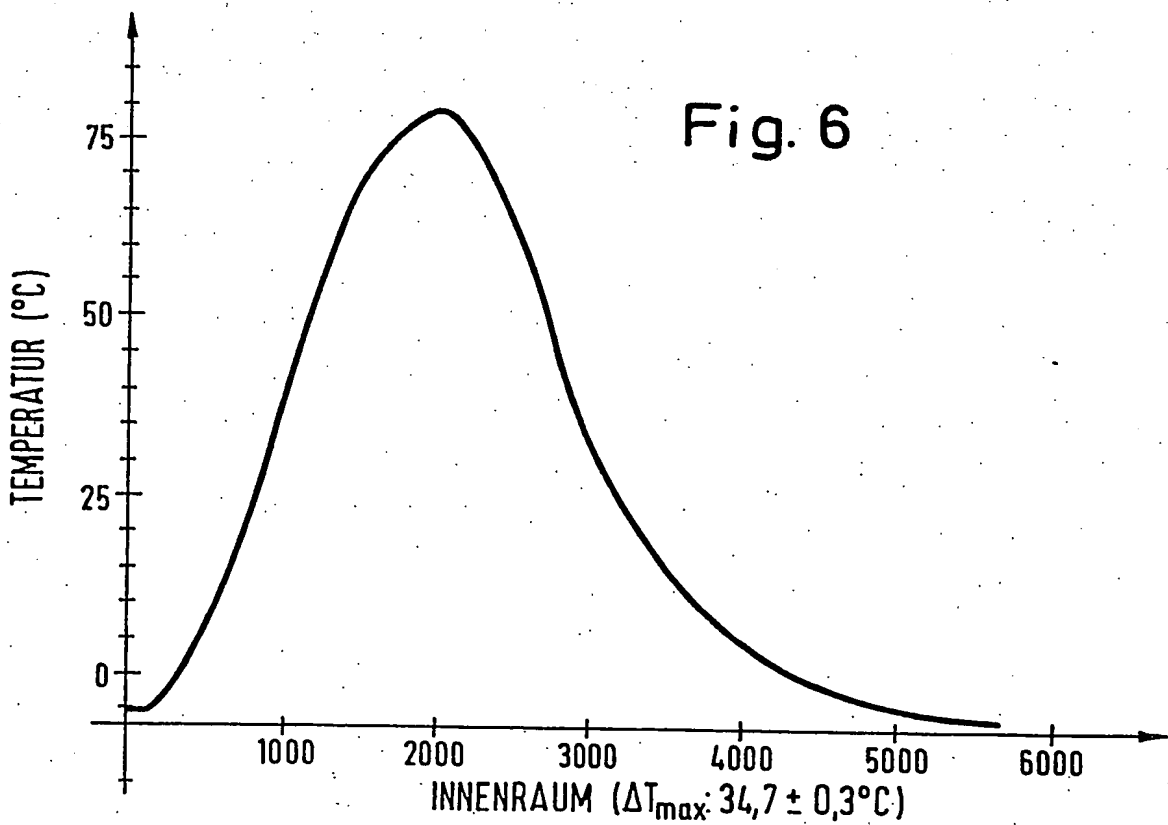
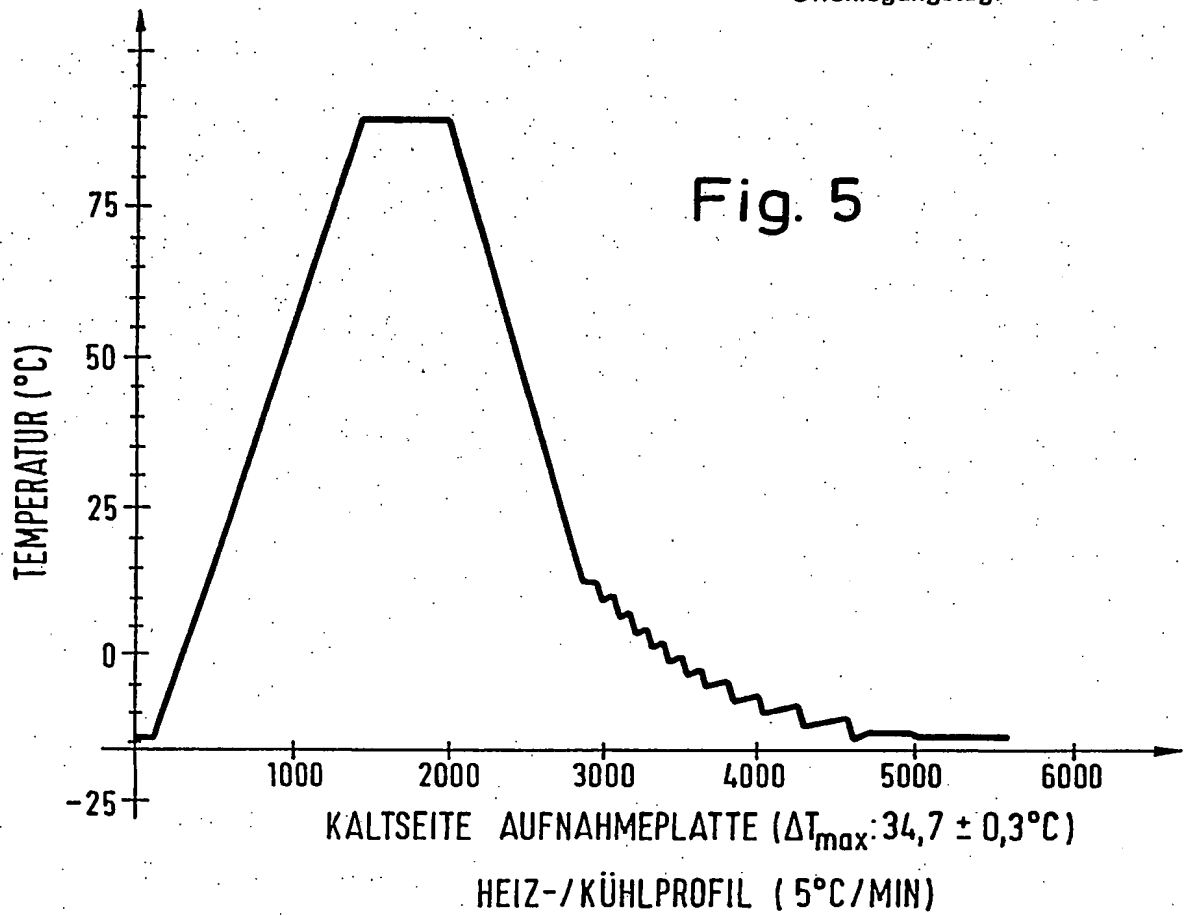


Fig. 7

